ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۱/۰۸/۲۰

بررسی نحوهء کشش کابل تیرهای ۳۰متری پل‌های خاص و تاثیر دما بر روی اجرای آن، در پروژه احداث راه آهن چابهار-زاهدان قطعه دو

امید نوروزی انگنایی[۱]، علی باقری روشتی[۲]، وحید نوری موسی[۳]

۱- فوق لیسانس مهندسی عمران، مسئول متره برآورد کارگاه احداث راه آهن چابهار به زاهدان، موسسه پایدار سازان

۲- لیسانس مهندسی عمران، سرپرست کارگاه احداث راه آهن چابهار به زاهدان، موسسه پایدار سازان

۳- لیسانس مهندسی معماری، مسئول کنترل کیفیت کارگاه احداث راه آهن چابهار به زاهدان، موسسه پایدار سازان

(omidnorooozi67@gmail.com)

چکیده

در این تحقیق به مراحل ساخت پل خاص و بررسی نحوهء کشش کابل تیرهای پل‌خاص و تاثیر دما بر روی اجرای آن، در پروژه احداث راه آهن چابهار-زاهدان قطعه دو پرداخته شده است. باتوجه به یافته‌ها، می‌توان بیان نمود که هماهنگی بین عمل‌آوری، آزاد کردن کشش کابل‌ها، باز کردن قالب‌ها و آزاد کردن نگهدارنده‌های کابل برای کنترل ترک خوردگی در عضو مهم می‌باشد. قالب‌ها باید تا حد امکان در دوره عمل آوری شل شوند. ضمنا، در صورتی که بتن گرم باشد، باز کردن زود هنگام قالب‌ها قبل از تنیدگی، می‌تواند باعث تسریع در خنک شدن و در نتیجه ترک گردد. پیش تنیدگی در زمان مناسب و قبل از وقوع ترک‌های ناشی از جمع شدگی، می تواند از وقوع چنین ترک‌هایی جلوگیری کند. باتوجه به وسعت و مدت زمان طولانی مراحل اجرا و کشش کابل در این پروژه، کشش کابل در فصول مختلف (دماهای بسیار بالا و بسیار پایین) هم صورت گرفت که باتوجه به یافته‌ها می‌توان بیان نمود که معمولا اختلاف دما بین فولاد و بتن در زمان کشش، تأثیر مهمی بر روی تغییر تنش در کابل‌ها دارند، بدین صورت‌که اگر فولاد در درجه حرارت پایین کشیده شود و سپس بتن گرم را به درون آن بریزیم، فولاد منبسط می‌شود که این امر باعث کاهش کشش در کابل می‌شود. همچنین اگر تغییر دما معکوس حالت قبل شود نتایج مربوطه نیز برعکس حالت قبل می‌شوند. علاوه برآن، به جز مواردی که تغییر دمای زیادی وجود داشته باشد، معمولا می‌توان از اثر تغییر دما صرف نظر کرد.

کلمات کلیدی: تیرپیش تنیده، کشش کابل، استاپ بلاک، پداستال، انکوریج.

۱- مقدمه

در تولید اعضای پس‌کشیده باید دقت خاصی به خرج داده شود. اغلب غلاف‌ها دارای مسیر منحنی با شیبداری می‌باشند و در نتیجه مستعد ایجاد اصطکاک بین بدنه غلاف و مفتول هستند. به همین دلیل کنترل فشار جک و ازدیاد طول در هر دو انتها اهمیت ویژه‌ای دارد. آیین نامه ساختمانی ACI اتلاف‌های اصطکاکی در فولاد پیش تنیدگی را در حین عملیات تنیدگی براساس آزمایشات انجام شده و با استفاده از ضرایب اصطکاک خطی و انحنایی معرفی می نماید. مقادیر ضرایب برای غلاف های یا مجراهای لازم برای عبور مفتول ها و کابل ها را می‌توان به وسیله لوله‌های پلاستیکی انعطاف پذیر، یا شیلنگهایی که از

درون بتن بیرون کشیده میشوند، ایجاد کرد. مجراها با لوله ها باید به طور مطمئنی به قفس آرماتور در فواصلی حداکثر برابر با ۱/۱۰ طول عضو (با حداکثر فاصله ۳ متر) بسته شود. برای ساختن غلاف‌های مستقیم در طول شمع‌های دایره‌ای توخالی که در حین اجراء به یکدیگر متصل می شوند، میله های فولادی پوشانده شده با روکش پلاستیکی، در داخل قالب تعبیه می شوند. خارج کردن میله ها باعث شل شدن لوله پلاستیکی می شود که در نتیجه می توان آن را خارج نمود. غالبا در کارهای پس کشیدگی به صورت متداول از مفتول های منفرد استفاده می‌شود. مفتول‌ها با کابل ردکن از داخل غلاف‌ها عبور داده شده و در انتها به وسیله جک کشیده شده و توسط گیره و گوه مهار می‌شوند. در نوع دیگر، طول مفتول به طور دقیق اندازه‌گیری می-شوند و به صورت گروه درون غلاف فلزی انعطاف‌پذیر قرار داده می‌شوند و سپس بتن ریخته می‌شود. پس از اینکه بتن به مقاومت مورد نیاز رسید، با استفاده از یک جک خاص که به صفحه سوراخدار میچسبد مفتول‌ها کشیده شده و سپس مهار می‌شوند و دست آخر درون غلاف تزریق می‌گردند.

قالب های بدنه معمولا فولادی هستند و قالب کف ممکن است فولادی یا بتنی باشد. قالب‌ها باید طوری طراحی و ساخته شوند که دارای مقاومت صلبیت و وادارها و مهارهای کافی و مناسب باشند تا در مقابل ارتعاشات ناشی از تراکم بتن بدون تغییر شکل‌ها و اعوجاج‌های خارج از رواداری مقاومت نمایند.تمیز کردن قالب‌ها سهل بوده و باید بعد از هر بار استفاده تمیز شوند، اتصالات و درزهای قالب باید محکم و آب‌بند باشند تا مانع از پس و پیش شدن پانل‌ها و فرار شیره بتن (کرمو شدن بتن) و یا دیگر نقص های بتن شوند. به منظور جلوگیری از لب پر شدن، کلیه گوشه ها باید دارای پخ باشند. پخی را می توان با خم کردن ورق فولادی سه گوش چوبالب‌بندی و کشش کابل پیش تنیدهی و یا سه گوش‌های لاستیکی به‌وجود آورد.

قالب‌های بدنه معمولا توسط پشت‌بندها و وادارهای کافی از سمت بیرون نگهداری و پشتیبانی می‌شوند و اغلب کمتر به استفاده از میان بولت برای قالب‌های بدنه به یکدیگر است. در صورت نیاز به استفاده از میان بولت بهتر است در بالا و پایین قطعه بتنی قرار گیرند.

شکل شماره (۱) : قالب بندی تیرهای پل خاص کیلومتر ۸۳۵+ ۱۰۶ (۲۰*۳) از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

به‌منظور جلوگیری از چسبیدن بتن قالب، باید سطح قالب‌ها توسط روغن چرب شود. معمولا محصولات خوب و مناسبی خصوصا به صورت ترکیبات برای عمل آوری در دمای بالا برای قالب‌های فلزی وجود دارد. هنگامی که از روغن قالب استفاده

می‌شود برای جلوگیری از آلودگی آرماتورها و کابل‌های پیش تنیدگی باید مراقبت های ویژه انجام گیرد. اگر سطح قالب ها قبل از آرماتوربندی چرب شود باید با کاغذ یا مشمع پوشیده شوند تا موجب آلودگی آرماتورها و کابل‌ها نشوند. اگر روغن بعد از تعبیه کابل‌ها به‌کار برده شود تمهیدات ویژه‌ای برای تمیز نگه داشتن کابل‌ها مورد نیاز است. هر مقدار از روغن قالب که روی مفتول‌های پیش‌تنیدگی ریخته می‌شود باید بلافاصله به وسیله یک حلال پاک شود.

محاسبات پیش تنیدگی

طراح باید تعداد، اندازه، آرایش تاندون ها، تنش اعمالی به کابل را محاسبه و نتایج را به صورت مقادیر فشار هیدرولیک جک و یا ازدیاد طول کابل برای استفاده در کارگاه ارایه نماید. محاسبات زیر چگونگی محاسبه نیروی کششی گروه کابل را که به طور همزمان کشیده می‌شوند، نشان می‌دهد. اگر کابل به صورت تک استفاده شود، معادلات به دست آمده با n=۱و j=۱ معتبر هستند.

کابل های غیرمستقیم

بسیاری از اعضای پیش‌تنیده دارای کابل ها با مسیر منحنی یا شکسته می‌باشند. در مسیر منحنی، کابل به صورت متقارن نسبت به وسط دهانه و در نزدیکی تار پایین در وسط دهانه تعبیه می شوند. سپس در انتهای تیر این کابل به نزدیک تار بالا کشیده می‌شود. هدف از استفاده از مسیر منحنی، ایجاد توزیع بهتر تنش در عضو پیش تنیده و کاهش برون محوری نیروی پیش تنیدگی در انتهای عضو می‌باشد. محاسبات نیرو و ازدیاد طول به دست آمده در بالا، برای کابل های مستقیم می باشد. گاهی اوقات تنیده کردن یک کابل منحنی، فقط از یک انتها به دلیل اصطکاک در وسایل نگهدارنده کابل در بالا و پایین چندین نقطه از بستر، امکان پذیر نمی باشد. در این حالت، نیروی کل در یک انتها به کابل وارد می شود و سپس ازدیاد طول ثبت می شود جک به انتهای دیگر منتقل می گردد و نیروی کل نیز در این انتها اعمال میشود و بعد از آن ازدیاد طول ثبت می‌شود. مجموع دو ازدیاد طول باید مساوی ازدیاد طول کل با ۵ درصد خطا باشد. دو روش معمول برای تنیده کردن کابل‌های منحنی وجود دارد که هر دو روش نتایج رضایتبخش و قابل قبولی را ارایه می‌دهند در روش اول، کابل‌ها با مسیر منحنی یا شکسته نصب می‌شوند و از دو انتها به روشی که در پاراگراف فوق ذکر شد کشیده می‌شوند. در روش دوم، همه تاندون‌ها به صورت مستقیم از داخل قالب ها عبور داده شده و سپس با مقدار نیرویی که قبلا مشخص شده است کشیده می‌شوند. در انتها با اعمال نیروی عرضی در نقاط مشخص، کابل در موقعیت نهایی قرار گرفته و به کمک مهارهایی در جای خود تثبیت می-گردند. با از بین بردن پیوستگی بین تاندون‌ها در انتهای می‌توان اثری شبیه به کابل‌های منحنی به‌دست آورد. طول فاصله قسمت ناپیوسته به وسیله طراح مشخص می‌گردد. به وسیله قرار دادن تاندون در داخل یک غلاف کاغذی با پلاستیکی یا به وسیله پوشاندن کابل با یک ماده ضد چسبندگی می‌توان از ایجاد چسبندگی جلوگیری کرد.

تنیدگی

هنگامی‌که بتن برای انتقال تنش از فولاد به مقاومت مشخصه کافی به بتن رسید، در عملیات پیش کشیده کابل‌ها آزاد، و در عملیات پس‌کشیده کابل‌ها کشیده می‌شوند. این عمل می‌تواند با آزاد کردن جک‌های استفاده شده برای کشیدن گروه کابل های مستقیم انجام شود. برای کابل منفرد با کابل های منحنی روش های دیگری مورد نیاز است. یکی از روش‌های بریدن کابل‌ها به صورت مجزا و به وسیله برش هوا می‌باشد که به صورت پی در پی یا با استفاده از الگویی که برای هر نوع قطعه و بستر پیش‌تنیدگی مشخص می‌شود انجام می‌گیرد.

ازاد کردن گروه کابل

در گروه کابل کل نیروی پیش‌تنیدگی به طور یک جا به وسیله جک ایجاد می‌شود. لیکن آزادسازی کابل‌ها یک به یک و تدریجی است. هنگامی‌که تنش در عضو پیش تنیده آزاد می‌شود، عضو بر روی بستر تا حدی خواهد لغزید که مقدار آن بستگی به طول تاندون آزاد بین دو قطعه و همچنین طول تاندون آزاد عضو و بلوک فشاری انتهایی بستر دارد. به‌همین دلیل نباید مانعی دربرابر حرکت اعضا به جز اصطکاک بستر وجود داشته باشد.

آزاد کردن کابل منفرد

با استفاده از ترتیبی که تنش‌ها را به طور متقارن نسبت به محور عضو نگه می‌دارد، کابل‌ها به وسیله برش هوا (با اکسیژن کم) تا نقطه خمیری شدن و از دست دادن مقاومت مربوطه گرم می‌شوند. با این روش به تدریج کابل‌ها با فاصله چند ثانیه برای هر کابل جدا می‌شوند. اگر گرم کردن در هردو انتهای بستر به طور همزمان انجام گردد بهترین نتیجه به‌دست می‌آید.

کابل های منحنی

برای اعضای سنگین (وزن عضو حداقل ۲ برابر نیروی مهار کابل در نقطه تغییر شیب باشد) ابندا وسایل نگهدارنده کابل در محل تغییر شیب آزاد می‌شوند، سپس کابل‌ها آزاد می‌گردند. هم کابل‌های مستقیم و هم کابل‌های منحنی را می‌توان با روش آزادسازی گروه کابل با کابل منفرد تنیده نمود.

در حالتی که اعضا سبک وزن هستند (وزن آنها کمتر از ۲ برابر نیروی نگهدارنده است)، ابتدا تاندون‌های شیبدار با گرم کردن در نقاط بر کنش (در حد فاصل دو قطعه) آزاد می‌شوند و بعد از آن نوبت به آزاد کردن نگهدارنده ها می‌رسد. کابل‌های مستقیم را می توان از روش گروه کابل یا کابل منفرد آزاد نمود. اگر به نحوی بر روی عضو اضافه وزن اعمال شده و با قیود کافی تأمین شود، اعضای سبک را می‌توان مشابه اعضای سنگین تنیده کرد.

۲-مواد و روش

در این تحقیق برای درک بیشتر خواننده، مراحل کامل اجرای تیر در یکی از پل‌های خاص پروژه راه‌آهن چابهار-زاهدان قطعه۲ به طور کاملا عملی شرح داده می‌شود تا مبحث کشش کابل و نتایج حاصل از آن قابل درک بیشتری باشد. ابتدا به معرفی پروژ پرداخته می‌شود.

اهمیت و موقعیت پروژه راه آهن چابهار-زاهدان

قدمت راه‌آهن سراسری در ایران به بیش از ۱۰۰سال می‌رشد که اولین خطوط ریلی در ایران حدود ۱۵۰ سال پیش ساخته شده است که شاخص‌ترین اثر سازه‌ای آن پل ورسک می‌باشد. به‌گواه کارشناسان شرط عملیاتی شدن یک بندر اتصال ریلی آن است چرا که بارهای بندر با تناژ بالا و طی مسافت‌های طولانی اصطلاحاً ریل پسندند و به صرفه است که با ریل جا به‌جا شوند. برای بندری در قد و قواره چابهار عملیاتی شدن سریع‌تر آن نیازی فوری است؛ برای اتصال چابهار به خط ریلی سراسری، خط چابهار- زاهدان از سال ۸۹ شروع شده است. محور راه آهن چابهار- زاهدان- مشهداتصال دهنده بندر چابهار به عنوان دروازه ورودی ایران از طریق آبهای آزاد به آسیای میانه می‌باشد. به دلیل اینکه حمل ونقل دریایی مرتبط با آن وارد محدوده تنگه هرمز نمی گردد، از لحاظ بارهای ترانزیتی از اهمیت فوق العاده برخوردار می‌باشد. مسیر طرح به طول احداث ۱۳۴۲ کیلومتر از چابهار آغاز و پس از عبور از از شهرهای نیک‌شهر، ایرانشهر، خاش، به محور کرمان– زاهدان می‌رسد و در ادامه از شهرهای نهبندان و بیرجند در خراسان جنوبی ادامه یافته و با عبور از قائن و گناباد به محور راه آهن بافق- مشهد متصل می شود.

پروژه راه‌آهن چابهار- زاهدان- سرخس– مشهد یکی از طرح‌های مهم ملی درحال اجرا در سیستان و بلوچستان است که تکمیل و راه‌اندازی آن تحولات چشمگیری در ارتباطات تجاری کشورهای مختلف و توسعه و پیشرفت استان‌های جنوب شرق کشور ایجاد می‌کند. توسعه بندر چابهار و ارتقای ظرفیت تخلیه و بارگیری آن تا ۸,۵ میلیون تن ایجاب می‌کند که خط ریلی

چابهار- زاهدان- میلک- سرخس هرچه سریع‌تر تکمیل شود تا تجار و سرمایه گذاران داخلی و خارجی با شوق و اشتیاق بیشتری در سیستان و بلوچستان حضور یابند و با سرمایه گذاری در این منطقه تحول بزرگی در صادرات و واردات و چرخه اقتصادی کشور ایجاد کنند.

اتصال راه آهن چابهار -زاهدان- میلک سیستان واقع در نقطه صفر مرزی با افغانستان که از خط آهن زاهدان- سرخس منشعب خواهد شد کشور افغانستان را نیز به شبکه راه آهن ایران و جهان متصل خواهد کرد. هر چند که افغانستان فاقد راه آهن است اما بازرگانان و تجار این کشور می‌توانند از راه آهن ایران برای جابه‌جایی کالاهای خود به سراسر دنیا استفاده کنند. با افتتاح راه‌آهن چابهار- زاهدان- سرخس کوتاه ترین راه ریلی از شمال به جنوب ایجاد خواهد شد که این خود باعث توسعه شرق کشور و استان محروم سیستان وبلوچستان می‌شود.

ایجاد زیرساخت ریلی سبب دسترسی بهتر به معادن غنی استان شده و بهره‌برداری از آن‌ها را مقرون به صرفه می‌کند، علاوه بر این مقدمات لازم برای سرمایه گذاری در زمینه فعال‌سازی ظرفیت معادن غنی شرق کشور فراهم می‌شود.

شکل شماره (۲) : موقعیت و مسیر پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

وضعیت سازه‌های موجود در قطعه دو از پروژه احداث راه‌آهن چابهار-زاهدان

قطعه دو به طول ۶۷ کیلومتر (۱۴۲-۷۵)، یکی از هشت قطعه از پروژ عظیم راه آهن چابهار به زاهدان با عبور از مناطق کوهستانی، یکی از ناهموارترین قطعات پروژه می‌باشد. این قطعه از پروژه دارای ۱۷ دستگاه پل خاص که مجموعا شامل ۶۶ دهانه می‌باشد. از آنجا که در هر دهانه پل خاص ۴ عدد تیر نصب می‌گردد، برای اجرای کل ابنیه پل خاص در این قطعه نیازمند ۲۶۴ عدد تیر است. وزن هرتیر ۳۰متری معادل ۶۰ تن می‌باشد.

همچنین این قطعه از پروژه دارای ۳ دستگاه تونل بنام‌های پوزک۱، پوزک۲ و پوزک۳ و مجموعا به طول ۲۳۴۸ متر است، علاوه برآن، ۸۰۹ متر طول گالری و ۲۳۰ دستگاه آبرو از یک دهانه تا ۷ دهانه می‌باشد. طول دهانه آبروها از ۲ متر تا ۱۰ متر و زوایای اجرای آن‌ها ۵۰، ۶۷، ۷۸، ۸۹ و ۱۰۰ گراد و باتوجه به نوع اجرا، باکسی، پیش‌ساخته یا کامپساکس، زیرخاکی یا همسطح متفاوت می‌باشند. به‌طور کلی این پروژه ترکیبی از انواع سازهاست که می‌تواند کامل‌ترین تجربه را در اختیار کارکنان و بازدیدکنندگان قرار دهد.

شکل شماره (۳) : موقعیت پل‌های خاص و مسیر قطعه ۲ از پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

پل خاص

در پروژه‌های ریلی، پروفیل طولی راه یک شیب ملایم و نیبتا ثابت دارد و مانند دیگر پروژه‌های راه‌سازی (راه اصلی، فرعی، بزرگراه و...) دارای شیب‌های طولی نسبتا تند نیست. همچنین در دره‌ها، مسیل‌ها و منطق کوهستانی عملیات خاکریزی به‌هیچ وجه قابل توجیه نیست و در این موارد باید از پل‌های خاص چند دهانه استفاده کرد. این پل‌ها دارای کوله‌های ابتدا و انتها، پایه‌های میانی، تیرهای پیش‌تنیده ۳۰ متری یا ۲۰متری و عرشه هستند که همگی آن‌ها از بتن مسلح ساخته می‌شوند.

شکل شماره (۴) : پل خاص کیلومتر ۳۶۵+ ۱۰۱ (۳۰*۵) از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

مراحل ساخت پل خاص

الف- جانمایی پل خاص: در این مرحله ابتدا مهندسین نقشه بردار با استفاده از داده‌های نقشه‌ها، محل احداث پل را مشخص می‌کنند، بدین ترتیب محل فونداسیون کوله‌ها و فونداسیون پایه‌های میانی با گچ پیاده‌سازی می‌گردد و این اطلاعات به مهندسین اجرا و ابنیه داده می‌شود. در نزدیکی پل، یک سکو یا پلتفرم ایجاد می‌گردد تا تیرهای مورد نیاز بصورت پیش‌ساخته آماده شوند، بدین ترتیب عملیات باربریزی و کمپکت انجام می‌گردد.

ب- اجرای کوله‌ها، پایه‌های میانی تا سرستون: کوله یا پایه میانی را در چند پارت مختلف اجرا می‌شوند. در این پروژه پایه‌های میانی در پارت‌هایی به ارتفاع ۲متر اجرا می‌گردند. پس از اجرای کوله‌ها در پشت آن‌ها خاکریزی انجام می‌شود لذا جهت نگه داشتن این خاک در پشت کوله‌ها، به هر کوله از دوطرف (بالادست و پایین دست) دو دیوار بتنی بصورت مایل متصل می‌شوند که به آن‌ها دستک گفته می‌شوند. کوله‌ها نیز توسط گوشواره که در بالاترین تراز کوله قرار دارد پل را به باند اصلی متصل می‌کند.

شکل شماره (۵) : اجرای پایه‌های پل خاص کیلومتر ۳۲۰+ ۷۸ (۳۰*۴) از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

ج- اجرای سرستون‌ها: پس از اجرای کامل پایه‌های میانی، سرستون‌ها اجرا می‌شوند. سرستون، بالاترین بخش یک ستون (پایه میانی) می‌باشد. این بخش از ستون جزئی از مکمل اصلی آن یعنی بدنه ستون می‌باشد و حمایت کننده بخش بالایی که همان دال روی سرستون می‌باشد است.

د- اجرای استاب بلاک: در ادامه جرثقیل شبکه پایکار را بلند کرده و توسط نیروهای اجرایی به محل خود هدایت و نصب می‌گردد و توسط سیم آرماتوربندی به میلگردهای انتظار ستون بسته می‌شوند و سطح آن‌ها توسط نقشه بردار کنترل می‌گردد. پس از نصب این شبکه، نسبت به تکمیل آرماتوربندی و قالب‌بندی سرستون اقدام می‌گردد. در مرحله بعدی استاپ بلاک‌ها که برروی سرستون قرار می‌گیرند قالب بندی و بتن‌ریزی می‌گردند. سرستون‌ها جزو حساس‌ترین بخش‌های پل خاص هستند زیرا تیرهای ۲۰ یا ۳۰ متری برروی آن‌ها نصب می‌شوند.

ه- اجرای الاستومر و نئوپرن: جهت استهلاک نوسانات طبیعی عرشه پل ناشی از انبساط و انقباض و بارهای دینامیکی و ترافیکی، از تکیه‌گاه‌های الاستومری و نئوپرن استفاده می‌شود. این تکیه‌گاه‌ها بصورت جداگر عمل کرده و عملکرد دو قسمت عرشه و پایه‌های پل را از هم جدا می‌کند.

نئوپرن‌ها به دلیل انعطاف پذیری برشی مناسب نقش جداساز لرزه‌ای را ایفا می‌کنند و بدین ترتیب پل در جابه جایی عرشه، نیروی برشی کمی را به ستون‌ها انتقال می‌دهد. قطعات الاستومر به ابعاد (۳*۲۰*۲۰) cm3 بصورت قائم به استاپ بلاک‌ها جهت ضربه‌گیری متصل می‌شوند. در واقع الاستومرها از اتصال مستقیم بدنه تیر و استاپ‌بلاک جلوگیری می‌کنند. همچنین در طرفین سرستون دوجانپناه بتنی هرکدام به ارتفاع ۱,۷ متر اجرا می‌شود. بنابراین هر سرستون دارای ۸ قطعه نئوپرن، ۱۲ قطعه الاستومر، ۸عدد پداستال و ۳ عدد استاپ‌بلاک است.

شکل شماره (۶) : موقعیت استاپ‌بلاک، نصب الاستومر و جانمایی نئوپرن پل خاص کیلومتر ۳۲۰+ ۷۸ (۳۰*۴) از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

اجرای تیرهای پیش تنیده

همزمان با اجرای کوله‌ها و پایه‌های میانی، تیرهای ۳۰ یا ۲۰متری در محل پلتفرم اجرا می‌شوند. ابتدا کف تیرها اجرا می‌شوند. کف تیرها بعنوان تیکه‌گاه تیرها عمل می‌کنند. ضخامت آن‌ها هم حدود ۱۵ سانتی‌متر و عیار بتن مصرفی در آن‌ها همانند مگر حدود ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع می‌باشد. روی کف تیرها را با پلاستیک می‌پوشانند که بعدا تیر به راحتی از آن‌ها جدا شود. برای جلوگیری از برخورد تیرها در صورت واژگون شدن در نتیجه دومینو شدن آن‌ها، فاصله کف تیرها از یکدیگر باید حداقل ۲,۲ متر باشد.

پس از پایان آرماتوربندی غلاف گذاری انجام می‌شود. این غلاف به‌صورت خمیده در تیرها جایگذاری می‌شوند. خم ان‌ها بصورت مقعر است، به‌طوری‌که در وسط تیر به زمین نزدیک‌تر می‌شوند.

پس از غلاف‌گذاری، تیرها قالب‌بندی و سپس بتن‌ریزی با رده مقاومتی ۴۰۰ توسط پمپ هوایی انجام می‌شود. پس از بتن ریزی، قالب‌ها را بعد از حدود ۲۴ الی ۴۸ ساعت باز می‌کنند و بتن را عمل‌آوری می‌کنند. در این حین کابل اندازی تیرها هم شروع می‌شود. هرکابل دارای ۷ رشته سیم به‌هم بافته و در هر غلاف از تیرها باید ۱۰ عدد کابل جایگذاری شود. در هنگام کابل اندازی باید دقت شود که هرکابل حداقل از یک طرف تیر به اندازه دست‌کم ۸۰ سانتی‌متر به صورت اضافی بیرون باشد، این طول اضافی در کشش کابل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل شماره (۷) : ساخت تیرهای پیش‌تنیدهء پل‌های خاص مسیر قطعه ۲ و ۴ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

در برخی از طرح‌ها به ویژه در شاه‌تیرهای سنگین پل نیاز به صفحات توزیع فشار در انتهای تیر می‌باشد. این صفحات باید بر روی بستر ساخته و به طور دقیق قبل از نصب قالب‌ها تعبیه شوند قطعات دیگری که باید به‌صورت انتظار تعبیه شوند می-بایست مطابق نقشه‌ها در محل خود محکم شوند.

اعضای پیش‌تنیده دارای آرماتوربندی متعارفی هستند. خاموت‌ها علاوه بر ایجاد مقاومت برشی برای کنترل برخی از ترک‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند. آرماتوربندی معمولا به‌صورت قفس‌های پیش ساخته می‌باشند که درون قالب‌ها قبل یا بعد از کشیدن کابل‌ها بسته به نوع عضو مربوطه کار گذاشته می‌شوند. ترتیب اجرای برخی از قالب‌ها به‌ویژه در تیرهای I شکل بدین شکل است که تاندون های پیش تنیدگی و آرماتورها قبل از نصب قالب های بدنه در مکان مربوطه قرار داده می شوند. جداکننده ها بلوک‌های مهاری انتها و مهار در نقاط شکستگی کابل‌ها را نیز می‌توان قبل از نصب قالب‌ها تعبیه نمود.

غالبا قالب‌های مدفون یا گم، در محدوده نزدیک تار خنثای مقطع عضو، به‌منظور کاهش وزن آن بدون کاهش ظرفیت باربری استفاده می‌شوند. حفره‌های استوانه‌ای کم قطر در سقف‌ها و اعضای عرشه و حفره‌های بزرگ مربعی یا مستطیلی در ساختن شاهتیرهای جعبه ای توخالی پل های استفاده می‌شوند.

عملیات کشش تیر

هنگامی که به مفتول فولادی نیروی کششی اعمال می شود، شروع به افزایش طول می‌نمایند. افزایش واحد طول تا نقطه‌ای به نام حد تناسب با تنش ناشی از نیروی اعمالی متناسب است.

در بتن پیش تنیده افزایش طول کابل‌ها مورد نظر است. مطابق ضوابط آیین نامه ها تنش نباید از۰/۹۴ تنش تسلیم یا ۰/۸ تنش نهایی تجاوز نماید. مدول الاستیسیته (E) مبین میزان خطی بودن و سختی مصالح و مواد است. مدول الاستیسیته برابر است با نسبت تنش به کرنش عضو، مدول الاستیسیته فولاد پیش تنیدگی در حدود می‌باشد. این عدد قابلیت تغییر در حدود ۷ و ۸ درصد که نتیجه آن امکان ایجاد خطا در مقادیر تنش و نیروی پیش‌تنیدگی محاسبه شده از اندازه‌گیری کرنش می‌باشد. برای محاسبه نیروی پیش‌تنیدگی از روی کرنش، ابتدا افزایش طول کابل در حین کشیدن اندازه‌گیری شود. با تقسیم این عدد بر طول کابل، کرنش تعیین می‌گردد. مقدار تنش نیز از حاصل ضرب کرنش در مدول الاستیسیته به‌دست می‌آید که اگر در سطح مقطع کابل ضرب شود، نیروی پیش‌تنیدگی حاصل می‌گردد. روش دیگر برای اندازه‌گیری نیروی پیش‌تنیدگی استفاده از فشار جک است. فشار جک توسط گیج‌های مستقر در روی آن قابل تعیین است. اگر فشار در مساحت پیستون جک ضرب گردد، نیروی پیش تنیدگی حاصل می‌شود. تا زمانی که تنش های به دست آمده از دو روش فوق در حد معقولی با هم سازگاری دارند سؤالی در مورد دقت اندازه‌گیری تنش به‌وجود نمی‌آید. هر روش کاری، استانداردها، ضوابط و رواداری‌های مربوط به خود را دارد. لیکن وجود ۵ درصد اختلاف برای کارهای پیش‌کشیده و ۷ درصد برای کارهای پس‌کشیده بین تنش محاسبه شده از فشار جک و است به دست آمده از اندازه‌گیری کرنش قابل قبول است.

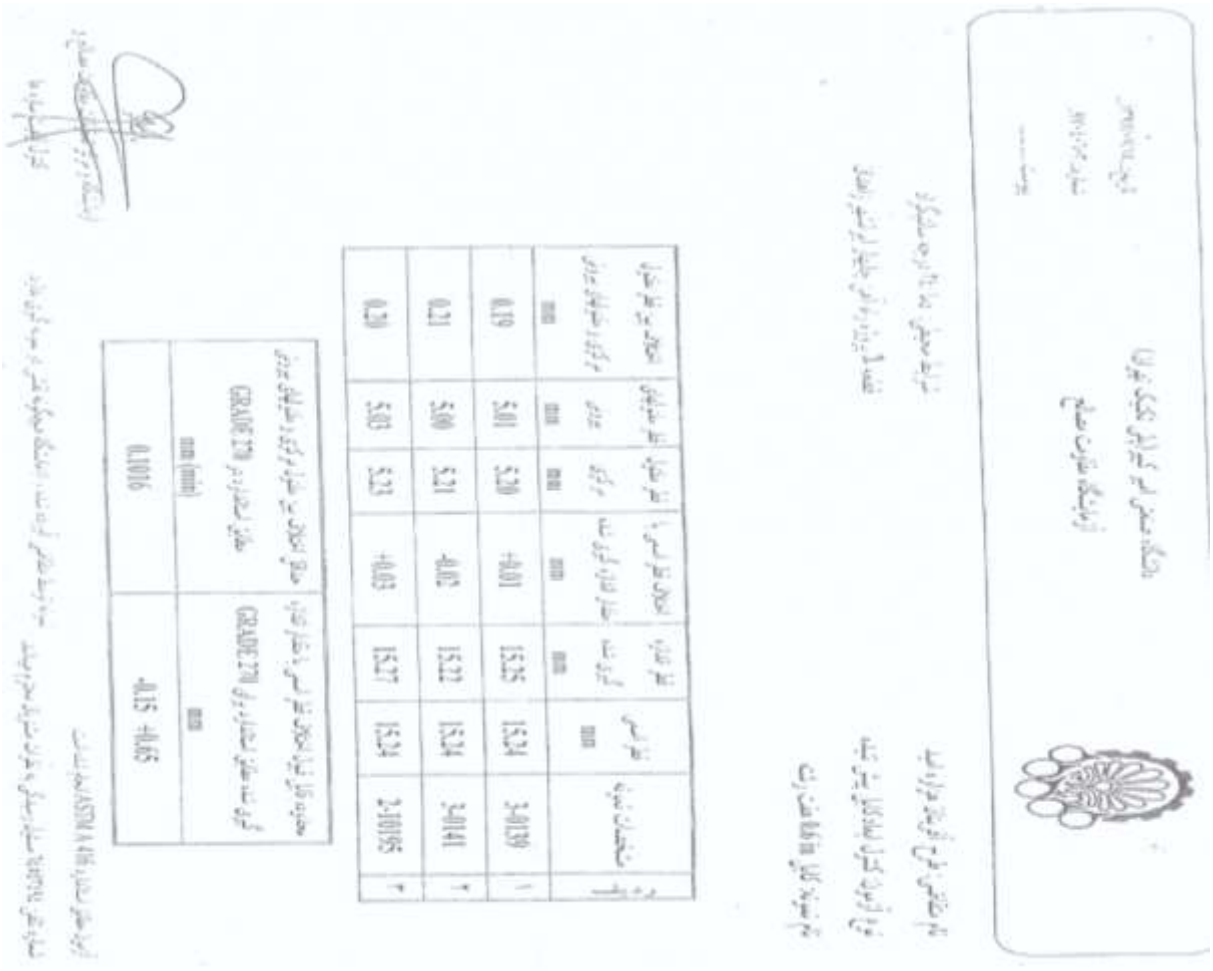
برای کشیدن گروه، کابل‌ها پس از عبور از سوراخ‌های موجود در صفحه سر که آرایش هندسی مشخصی دارند، وارد گیره‌های جک می‌شوند. با اعمال نیروی هیدرولیک، کابل‌ها کشیده می‌شوند. هنگامی که کشش به‌مقدار مناسب رسید (به وسیله فشار جک و اندازه‌گیری افزایش طول منحنی می‌شود) کابل توسط گیره و گوه مهار شده و جک‌ها برای بستر بعدی کنار گذاشته می‌شوند وفی تعداد زیادی از کابل‌ها تنیده می‌شوند ممکن است بیشتر از یک جک استفاده شود. اسیدی کابل متعدد اجازه استفاده از جک‌های کوچکتر و سبک‌تر را فراهم می‌سازد.

پس از اتمام کشش؛ جک هیدرولیک را از سر غلاف‌ها بیرون می‌آورند و کابل‌ها توسط گیره‌های ابتدا و انتها همچنان تحت کشش باقی می‌مانند و تمایل به برگشت به حالت اولیه را دارند که این وضعیت باعث می‌شود که تیر از هر دوطرف تحت فشار قرار گیرد. عملیات کشش هر کابل در سه مرحله انجام می‌شود که در مرحله اول نیروی وارده ۱۰۰ بار، در مرحله دوم ۲۰۰ بار و در مرحله سوم ۲۴۷ بار خواهد بود.

شکل شماره (۸) : کشش کابل تیرهای پل خاص کیلومتر ۰۷۶+ ۱۰۵ (۳۰*۶) از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

تزریق تیرهای ۳۰ متری

پس از کشش سه غلاف پایینی، نوبت تزریق گریت یا دوغاب سیمان به درون غلاف‌ها می‌رسد. هدف از تزریق، جلوگیری از زنگ‌زدن کابل‌های فولادی و هم‌چنین چسبندگی بین کابل‌ها می‌باشد. از جمله نکات قابل توجه در تزریق، شستشوی دیگ تراک‌میکسر قبل از بارگیری دوغاب است که باید کاملا از هرگونه سنگ‌دانه خالی شود، در غیر اینصورت سنگ‌دانه‌ها در لوله-های دستگاه تزریق گیر می‌کنند و دستگاه از کار می‌افتد. پس از شستشو و بارگیری تراک میکسر، یک توری یا الک با حفره-های ریز بر روی هم‌زن قرارداده تا از ورود هرگونه سنگدانه جلوگیری شود. پس از یک هفته و اطمینان از عدم شل شدن کابل-ها به دستور نظارت، عملیات تزریق گروت انجام می‌شود.



شکل شماره (۹) : نمونه شیت کشش کابل تیرهای پل خاص از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

اختلاف ها و اتلاف ها:

بین محاسبات و افزایش طول اندازه‌گیری شده می‌توان اختلاف‌های کوچک را انتظار داشت. در صورت شناخت و آگاهی از منبع اختلاف، می‌توان آنها را ارزیابی نمود. یک منبع اختلاف، وقوع لغزش در محل گیره‌ها است. این موضوع در محاسبات به آسانی قابل تشخیص و اعمال هستند. در آغاز هر کار پیش‌تنیدگی، جابه‌جایی و تغییر شکل نقاط تکیه‌گاهی اعمال نیرو باید ارزیابی شوند، معمولا از این اثر می‌توان صرف‌نظر کرد، اما اگر اختلاف آشکار دیگری وجود داشته باشد باید کنترل شوند.

۳- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مراحل ساخت پل خاص و بررسی نحوهء کشش کابل تیرهای پل خاص و تاثیر دما بر روی اجرای آن، در پروژه احداث راه آهن چابهار-زاهدان قطعه دو پرداخته شده است.

در روش پیش‌تنیدگی، کابل‌ها در یک انتهای بستر مهار می‌شوند و در انتهای دیگر به وسایل کشش بسته می‌شوند. هم برای کشیدن گروه کابل‌های پیش تنیدگی و هم برای کشیدن کابل منفرد پیش تنیدگی از جک‌های هیدرولیک مخصوص با بازوی بلند متحرک استفاده می‌شوند. در حین کشش کابل‌های پیش‌تنیدگی تک، کابل تمایل به پیچیدن دارد که در نتیجه باعث چرخش بازوی جک می‌شود. یک دور چرخش برای ۳۰ متر طول کابل مجاز است. گاهی اوقات ممکن سد مفتولی در حین تنیدگی گسیخته شود. اگر تعداد این مفتول ها کمتر از ۲ درصد مساحت کل مفتول‌ها باشند، تنیدگی قابل قبول است.

در عمل به تاندون‌ها (کابل‌ها) یک نیروی کوچک اولیه اعمال می‌شود. این نیروی اولیه به وسیله کشیدن کابل‌ها به مقدار کم اعمال می‌گردد. مقدار این نیرو، حداقل نیرویی است که شل بودن کابل‌ها را برطرف و تنش را یکسان می‌سازد. مقدار نیروی مورد نیاز به طول بستر، اندازه کابل‌ها و مسیر کابل‌ها بستگی دارد. مقدار نیروی استفاده شده بین ۵ تا ۲۰ درصد نیروی پیش-تنیدگی نهایی است نیروی اولیه را می‌توان به وسیله جک پیش‌تنیدگی یا هر وسیله دیگری که امکان اعمال نیروی مورد نظر را دارد به کابل‌ها وارد کرد. بعد از اعمال نیروی اولیه، نقاط مبنا برای اندازه‌گیری کرنش علامت زده می‌شود افزایش طول باید با رواداری در حدود چند میلی‌متر اندازه‌گیری شود. هرتیر دارای ۴ غلاف است. سه غلاف پایینی قبل از نصب برروی پل و روی زمین کشیده می‌شوند و غلاف بالایی پس از نصب برروی پل و بعد از انجام مرحله اول بتن‌ریزی عرشه انجام می‌پذیرد. قبل از انجام کشش کابل و هم‌چنین پس از کابل اندازی در تیرها باید در هر غلاف یک قطعه فلزی دایره‌ای شکل را که دارای ۱۲ عدد سوراخ است (بنام انکوریج) از کابل‌ها عبور دهیم و آن‌ها را به سر غلاف بچسبانیم کابل‌های رد شده از داخل آن را با گوه‌ها ثابت کنیم.

باتوجه به یافته‌ها، می‌توان بیان نمود که هماهنگی بین عمل‌آوری، آزاد کردن کشش کابل‌ها، باز کردن قالب‌ها و آزاد کردن نگهدارنده‌های کابل برای کنترل ترک خوردگی در عضو مهم می‌باشد. قالب‌ها باید تا حد امکان در دوره عمل آوری شل شوند. ضمنا، در صورتی که بتن‌گرم باشد، بازکردن زود هنگام قالب‌ها قبل از تنیدگی، می‌تواند باعث تسریع در خنک شدن و در نتیجه ترک گردد. پیش تنیدگی در زمان مناسب و قبل از وقوع ترک‌های ناشی از جمع شدگی، می تواند از وقوع چنین ترک-هایی جلوگیری کند. همچنین، باتوجه به وسعت و مدت زمان طولانی مراحل اجرا و کشش کابل در این پروژه، کشش کابل در فصول مختلف (دماهای بسیار بالا و بسیار پایین) هم صورت گرفت که باتوجه به یافته‌ها می‌توان بیان نمود که معمولا اختلاف دما بین فولاد و بتن در زمان کشش، تأثیر مهمی بر روی تغییر تنش در کابل‌ها دارند. اگر فولاد در درجه حرارت پایین کشیده شود و سپس بتن گرم را به درون آن بریزیم، فولاد منبسط می‌شود که این امر باعث کاهش کشش در کابل می‌شود. همچنین اگر تغییر دما معکوس حالت قبل شود نتایج مربوطه نیز برعکس حالت قبل می‌شوند. علاوه برآن، به جز مواردی که تغییر دمای زیادی وجود داشته باشد، معمولا می‌توان از اثر تغییر دما صرف نظر کرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش به نوعی بیانگر گوشه‌ای از زحمات کلیه‌ی کارکنان پروژه ساخت راه‌آهن چابهار به زاهدان (قطعه۲) در ساخت پل خاص می‌باشد که خالصانه برای آبادانی **ایران عزیز** زحمات فراوانی کشیده‌اند. بدین وسیله نویسندگان این پژوهش از مهندسین **مهدی مقدم** و **مهدی حاجی‌هاشمی** (مدیریت برنامه‌ریزی و کنترل پروژه موسسه پایدارسازن)، **سید مسلم جوادی، حمید غریبی، حمید مصطفی نژاد** و **علی‌اصغرشاعری** (مشاورین نظارت طاها)، **مرتضی البرزی** و **محمدرضا اوجاقی** (واحد اجرا)، **اصغر بامری** (نقشه بردار)، **حسن کیانی** و **محمد عمر رئیسی** (عملیات خاکی)، **علی طیب** (کنترل پروژه کارگاه)، **هادی عباسی چکان، احسان شفاهی، ابراهیم جاویدطلب، طاها سعیدی، رضا بازوند، منصور بلوچزهی، سینا کرمی، محمد شیروانی** و **سایر همکاران** و زحمت‌کشان فعال پروژه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

۱. آئین نامه وزارت راه و شهرسازی، (۱۳۹۲).
۲. نیک نژاد، علیرضا،بررسی روش‌های مختلف نصب عرشه فلزی پل های کابلی (مطالعه موردی پل کابلی لالی) و بهینه سازی نیروهای کششی کابل‌ها با در نظر گرفتن اثرات فرآیند اجرا و عوامل وابسته به زمان، اولین همایش ملی فن آوری در مهندسی کاربردی،تهران،۱۳۹۵ https://civilica.com/doc/۶۲۲۴۵۰

۳. سرفرازی، وهاب، (۱۳۹۴). ،تعیین کشش کابل مورد نیاز جهت پایدارسازی شیروانی های سنگی حاوی سطوح ضعف نامتمد در برابر بارگذاری ناشی از زمین لرزه،اولین همایش بین المللی و سومین همایش ملی معماری،عمران و محیط زیست شهری،همدان،https://civilica.com/doc/434775

4. Applegate, L.M., Austin, R.D., and McFarlan, W.F. (2003).*Corporate Information Strategy & Management*, International Edition, Sixth edition, McGraw- Hill.
5. Bagherzadeh, Sina and Akbari, Mahmoud, 2015. Estimation of concrete strength using artificial neural networks and fuzzy-neural-comparative inference system, 10th International Congress of Civil Engineering, Tabriz. (In Persian).
6. Comparing Effects of Different Nanoparticles and Compatibilizers on the Properties of Thermoplastic Polyester Elastomer Nanocomposites
7. Norouzi Angnaei, Omid and Khalafi Khatbasra, Mohammad Javad and Karimi, Mahboubeh, 1398. Investigation of the performance of data-based methods in estimating important moisture points in Shahroud region, Journal of Irrigation Science and Engineering 44 (4), 44-29.
8. Ministry of Roads and Urban Development (2018). "Chapter 9, Design and Execution of Reinforced Concrete Buildings", Office of National Building Regulations. Iran Tehran.
9. Roshan, Naeem. Ghalehnavi, Mansour and Khosravi, Amir, 1399. Prediction of concrete compressive strength using machine learning regression algorithms. Twelfth Civil Engineering Congress, Tabriz.(In Persian)
10. Exploring Formations of Thio-Thiol and Keto-Enol Tautomers for Structural Analysis of ۲-Thiouracil
11. Jafari Gilande, p. Khodavardilo, H. and Rasulzadeh, A. 2016. Application and Comparison of Parametric Transfer Functions of Vennoghten Model in Simulation of Unstable Water Flow in Cultured Soil. Journal of Water and Soil Knowledge. Volume 26, Number 2/2, 94-81. (In Persian)
12. Chen Li, A. et. al (2015). Combined effects of high temperature and high strain rate on normal weight concrete. International Journal of Impact Engineering No.86, 40-56.
13.
14. DFT Calculations of a Cubic B۴N۴ Cubane-Like Particle for CO Gas Adsorption
15. Synthesis of New Beta-Amidophosphonates and Theoretical Evaluation of Related Features
16. Molecular Analysis of ۵-COR Derivatives of Uracil and Evaluating their Affinity Against the MPro Target of COVID-۱۹.